

УДК 666.9:681.3

К. О. Бобров, Н. Б. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЗАЖИГАТЕЛЬНОГО ГОРНА АГЛОМЕРАЦИОННОЙ МАШИНЫ

Аннотация

В работе представлено компьютерное моделирование работы зажигательного горна агломерационной машины. Исследование производилось с помощью программной системы ANSYS. Для моделирования горения в пакете ANSYS использовался модуль ANSYS CFX. В процессе моделирования были использованы модели горения турбулентных течений, кинетика быстрых реакций предварительно не смешанных реагентов. В качестве топлива в данной задаче использовался природный газ, а в качестве окислителя воздух. Массовые расходы топлива и окислителя, конструктивное исполнение агрегата, а также другие необходимые исходные физические значения приняты из технической документации на соответствующее оборудование. Итоги компьютерного моделирования представлены графически и отражают температурные и скоростные поля, а также массовые доли реагирующих компонентов в рабочем пространстве зажигательного горна.

Ключевые слова: *топливосжигающее устройство, компьютерное моделирование, горение, ANSYS CFX, модуль, температурные поля, скоростные поля, массовые доли.*

Abstract

The work presents a computer simulation of fuel combusting unit incendiary furnace of a sintering machine. The study was carried out using ANSYS software system. For the simulation of combustion in ANSYS package used by the CFX ANSYS module. The module was selected models of turbulent flows, combustion, kinetics of fast reactions were mixed reagents. The fuel natural gas used in this study, and as air is the oxidant. The mass consumption of fuel and oxidizer, the structural design of the unit, as well as other necessary initial physical values are taken from the technical documentation for the relevant equipment. As the results of a graphical representation of the temperature and velocity fields as well as mass fractions of the reactants.

Key words: *fuel burning device, modeling, combustion, ANSYS CFX, module, temperature field, velocity field, mass fractions.*

Объектом моделирования является зажигательный горн [5]. Размеры рабочего пространства горна: ширина 3260 мм, длина 4200 мм и высота от свода до низа тележек 1280 мм. Горн состоит из следующих основных частей: боковые, сводовые и торцевые панели (рисунок 1). Все элементы горна съемные и заменяемые. Три средних сводовые панели предназначены для установки газовых горелок.

В качестве топливосжигающих устройств используются горелки ГПС 0.4 (рисунок 2) [4], предназначенные для использования в системе отопления зажигательных горнов агломерационных машин. Собственно, горелка состоит из воздухонаправляющего корпуса и газовой части со стабилизатором. Воздухонаправляющий корпус выполнен из трубы диаметром 133 мм. В корпусе предусмотрены четыре отверстия для входа воздуха из воздушного корпуса панели.

На наружной поверхности выходного торца газовой трубы выполнены направляющие ребра с упорами, на которые надета втулка с лопатками для завихрения воздуха. Газовое сопло выполнено сменным в виде наконечника с системой выходных отверстий для прохода газа. При работе горелки воздух нагнетается в сводовую панель в требуемом количестве. Из панели воздух поступает в каждую воздухоприемную трубу горелок.

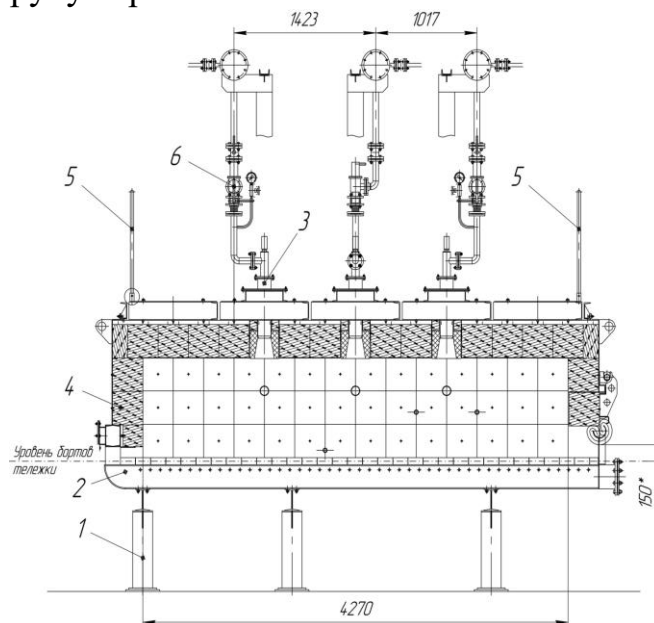


Рис. 1. Продольный разрез горна:

- 1 – опорная стойка; 2 – коллектор охлаждающий; 3 – горелка сводовая;
4 – футеровка; 5 – перила; 6 – запорная регулирующая арматура

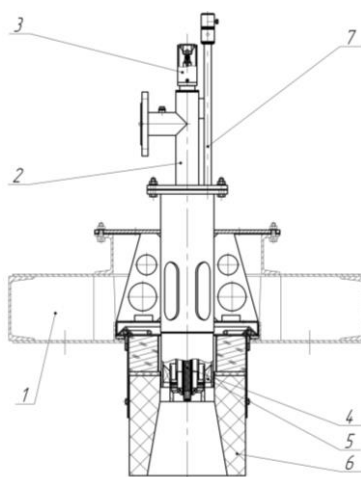


Рис. 2. Горелка ГПС-0,4:

- 1 – воздухоподводящий корпус (сводовая панель); 2 – газовая часть;
3 – клеммная коробка; 4 – электрод розжига; 5 – завихритель;
6 – горелочный камень; 7 – патрубок фотодатчика

Компьютерное моделирование проходило в программе «ANSYS». Первым этапом моделирования является построение твердотельной геометрической модели зажигательного горна. Данная модель (рисунок 3) была создана в чертежно-графическом редакторе «SolidWorks», а затем экспортирована в программную

платформу «ANSYS CFX», а именно в геометрический подраздел «DesignModeler».

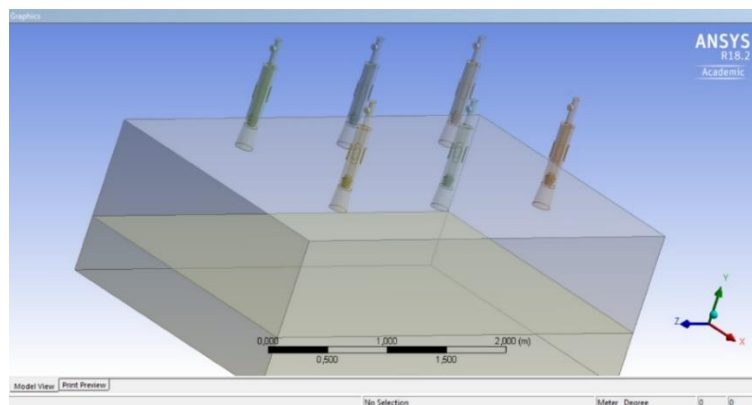


Рис. 3. Геометрическая модель зажигательного горна

Следующим этапом моделирования является создание сеточных моделей задачи [1]. Область, на которой решается задача, аппроксимируется непересекающимися подобластями простого типа, которые называются конечными элементами (КЭ). Множество элементов, на которые разбита область, называется конечно-элементной сеткой. В данной задаче был выбран метод подраздела механики сплошных сред вычислительной газодинамики «CFD» [2]. Для горелочных устройств с пространством внутри горелочных камней была сгенерирована тетраэдральная сеточная модель с минимальным размером узлов для более точного описания химических реакций в месте смешения топлива и окислителя. Для рабочего пространства зажигательного горна была выбрана стандартная структурированная сеточная модель для сокращения времени расчетов. Общий вид сеточных моделей задачи представлены на рисунке 4.

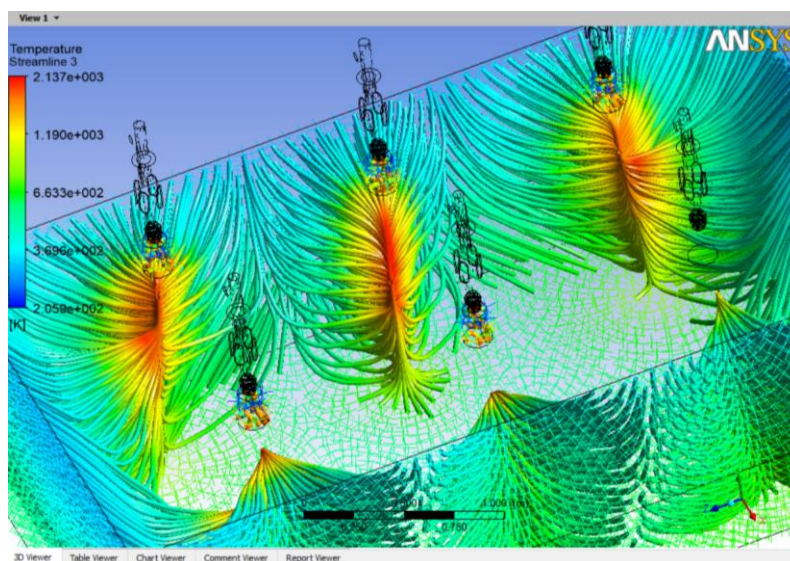


Рис. 4. Температурное поле зажигательного горна

Третьим этапом моделирования является выбор физических моделей процесса и задание граничных и начальных условий в физическом препроцессоре

«CFX-Pre» [3]. В данной работе было выполнено моделирование процесса горения природного газа в горелочных устройствах зажигательного горна. Горение в данных агрегатах является диффузионным, с турбулентным течением потока. В качестве модели горения была использована «Flamelet model». В ней турбулентность и неравновесная химия описывается статистически с помощью переменной смешения (Z) и мгновенной скорости скалярной диссипации (X). Она служит для моделирования диффузионного горения с турбулентным течением с использованием встроенных библиотек «CFX-RIF». В опциях библиотеки был выбран встроенный механизм «C1-C4», в котором был задан химический состав природного газа, окислителя, а также модели загрязнителей («without NOx»). В качестве модели турбулентности была использована k-ε модель с пристеночными функциями. Для k-ε модели сформировался определенный набор эмпирических констант, который принят по умолчанию в пакете ANSYS. В качестве начальных условий было задано атмосферное давление топлива и окислителя перед входом в горелку и их температура 300 K.

В качестве граничных условий в данной задаче были указаны скорости потоков топлива и окислителя на входе в горелку. Данные о скоростях энергоносителей были получены на основании известных экспериментальных расходных характеристик горелки [4]. В результате скорости природного газа 19,6 м/с при суммарном объемном расходе 480 м³/ч, а входные скорости воздуха 20,66 м/с при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,0$.

Далее «CFX-Solver» производит решение всех задач компьютерного моделирования. После операции вычисления в постпроцессоре были получены следующие графические результаты, отображающие температурное поле (рисунок 4), скоростное поле факелов горелок (рисунок 5), скоростное поле рабочего пространства зажигательного горна (рисунок 6) и поля массовых долей окисленных компонентов горения (рисунок 7).

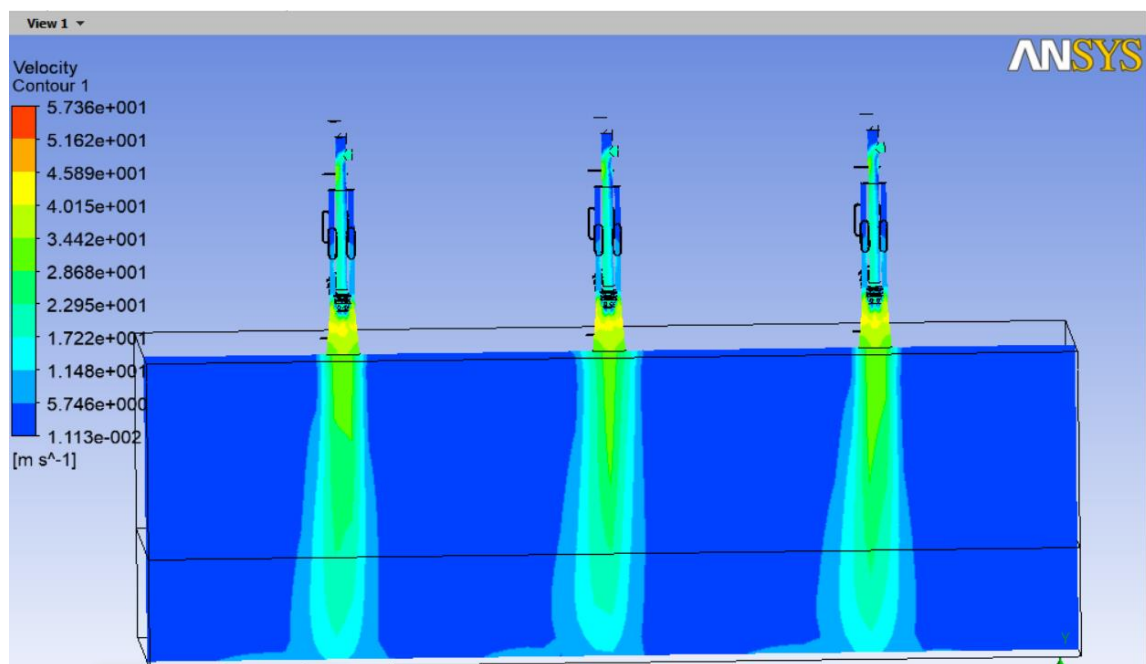


Рис. 5. Скоростные поля факелов горелок

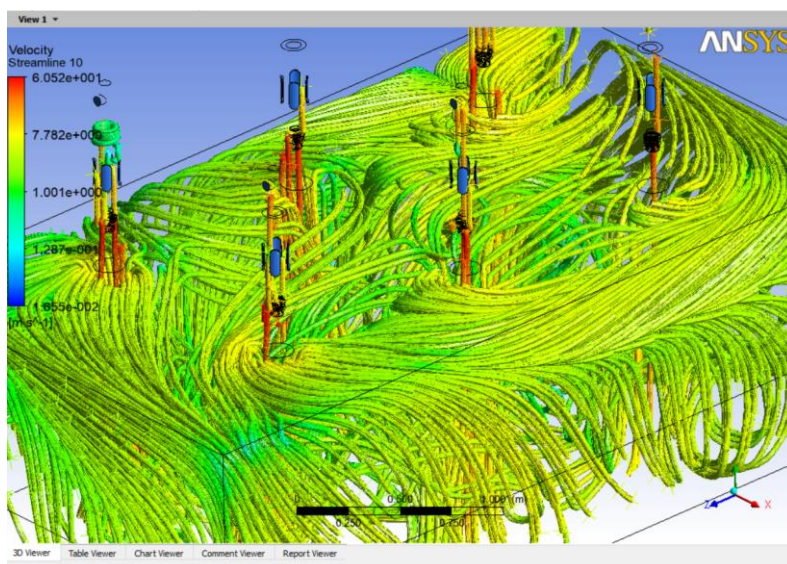


Рис. 6. Скоростное поле рабочего пространства зажигательного горна

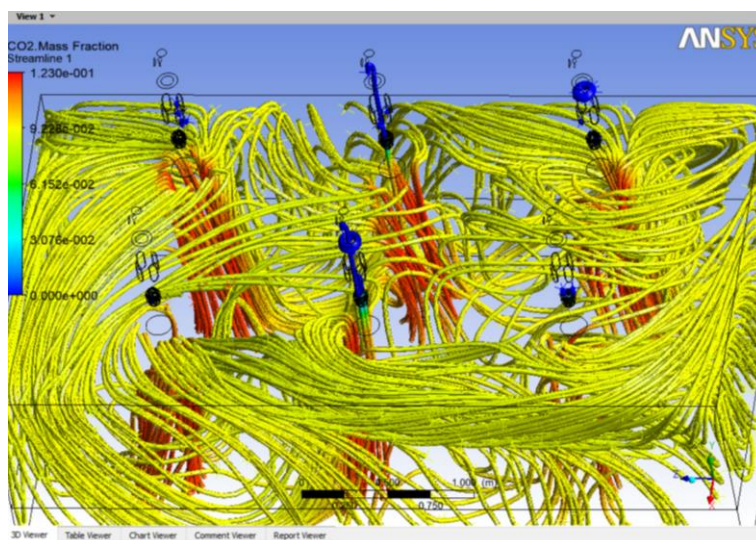


Рис. 7. Поля массовой концентрации окисленных компонентов горения

Список использованных источников

1. Елисеев К.В., Зиновьева Т.В. Вычислительный практикум в современных САЕсистемах: учеб. пособие. – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 112 с.
 2. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: учебное пособие. Самара: изд-во гос. техн. ун-та, 2010. – 271 с.
 3. Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: учеб. пособие. – СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 143 с.
 4. Руководство по эксплуатации горелки ГПС–0,4. Екатеринбург: ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники», 2015. – 12 с.
 5. Руководство по эксплуатации зажигательного горна агломерационной машины №10 ОАО «ММК». – Екатеринбург: ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники», 2011. – 15 с.
- УДК 620.9